

## DISPLAY METHOD OF THREE-DIMENSIONAL KINETICS DATA

Patent Number: JP9180001

Publication date: 1997-07-11

Inventor(s): ISOBE YOSHIAKI; SANO KOICHI; OIKAWA MICHIO

Applicant(s): HITACHI LTD.; HITACHI MEDICAL CORP

Requested Patent: ☐ JP9180001

Application Number: JP19950336452 19951225

Priority Number(s):

IPC Classification: G06T15/70; A61B5/055; A61B6/03; A61B8/00; G01T1/161; G06T1/00; G06T15/00

EC Classification:

Equivalents:

---

### Abstract

---

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To display three-dimensional kinetics without impairing interactivity by repeatedly visualizing three-dimensional volume data.

**SOLUTION:** For this display method, a storage device 2 for storing four-dimensional data to which a time base has been added, a computer 3 which visualizes the four-dimensional data, a display 6, and a device 5 for inputting coordinates on the display are provided. Further, when kinetics for one cycle of periodic four-dimensional data is displayed in three dimensions, a process for displaying a three-dimensional image in time phase that is already calculated in determined display timing at set display intervals without reference to whether other time phase are being calculated while there is no variation of visualization parameters is performed unless visualization calculation is completed within a set display interval.

---

Data supplied from the esp@cenet database - 12

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-180001

(43) 公開日 平成9年(1997)7月11日

(51) Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 6 T 15/70			G 0 6 F 15/62	3 4 0 K
A 6 1 B 5/055			A 6 1 B 6/03	3 6 0 G
	6/03	3 6 0		8/00
	8/00		G 0 1 T 1/161	C
G 0 1 T 1/161			A 6 1 B 5/05	3 8 0
審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 12 頁) 最終頁に続く				

(21) 出願番号 特願平7-336452

(22) 出願日 平成7年(1995)12月25日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(71) 出願人 000153498

株式会社日立メディコ

東京都千代田区内神田1丁目1番14号

(72) 発明者 磯部 義明

神奈川県川崎市麻生区王禅寺1099番地 株式会社日立製作所システム開発研究所内

(72) 発明者 佐野 耕一

神奈川県川崎市麻生区王禅寺1099番地 株式会社日立製作所システム開発研究所内

(74) 代理人 弁理士 小川 勝男

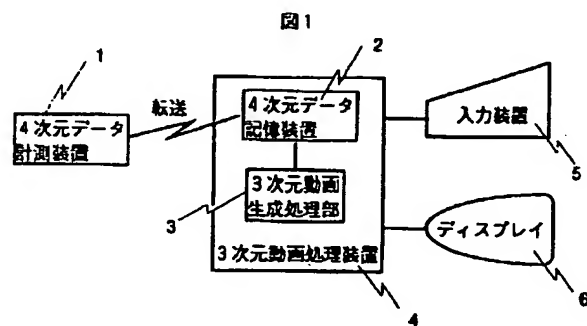
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 3次元動態データの表示方法

(57) 【要約】

【課題】 3次元ボリュームデータを可視化する方法として、サーフェスレンダリングがあるが、人体などの計測データに適用すると、関心領域の表面が曖昧なため、動態の表示間隔で3次元画像を計算した場合、画質に問題があった。一方、表面を明確に決めずに可視化する方法として、ボリュームレンダリングがあるが、計算時間が非常に長く、さらに、最適な可視化パラメータを選択するために、対話的にパラメータを変更する必要があった。

【解決手段】 時間軸を加えた4次元データを保管する記憶装置2と、4次元データの可視化処理を行う計算機3と、ディスプレイ6と、ディスプレイの座標を入力する装置5とを備えている。さらに、周期的な4次元データの1周期分の動態3次元表示を行う際、設定された表示間隔の間に可視化計算が終了しない場合、可視化パラメータの変化の無い間は、他の時相を計算中であるか否かに関わらず、既に計算済みの時相の3次元画像を設定された表示間隔で決定される表示タイミングで表示する処理を行う。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】時間的に周期的な変化のある物体の各時相を3次元配列で表現した4次元データおよび処理結果のうち少なくとも一方を保存する記憶装置と、前記記憶装置に保存されたデータを処理する処理装置と、

前記処理装置での処理結果を表示するディスプレイと、ディスプレイ上の位置情報を入力する装置を備えた表示装置において少なくとも視点、可視化条件および動画表示間隔のパラメータをインタラクティブに与え、与えられたパラメータを用いて各時相の3次元画像を計算して、時間軸に沿って順次サイクリックに3次元表示する際には、

前記パラメータの変更が無い間に計算した各時相の3次元画像を該記憶装置に保存し、視点や可視化条件のパラメータ変更が無い間は、他の時相を計算中であるか否かに関わらず、該保存された3次元画像を該表示間隔パラメータで指定される各時相の表示タイミングで表示することを特徴とする3次元動態データの表示方法。

【請求項2】請求項1の3次元動態表示方法において、各時相の3次元画像を計算する時間を予測し、予測された計算時間に基づいて、未計算の時相の中で最初に表示タイミングが来る時相のデータを選択して計算することを特徴とする3次元動態データの表示方法。

【請求項3】請求項2の3次元動態データの表示方法において、

3次元画像の計算時間を予測する際は、1時相分の予測計算時間を直前の3次元画像の計算時間とすることを特徴とする3次元動態データの表示方法。

【請求項4】請求項2の3次元動態データの表示方法において、

3次元画像の計算時間を予測する際は、1時相分の予測計算時間を視線方向や可視化条件のパラメータ変更が無い間に計算された各3次元画像の計算時間の平均とすることを特徴とする3次元動態データの表示方法。

【請求項5】請求項2の3次元動態データの表示方法において、

3次元画像の計算時間を予測する際は、1時相分の予測計算時間を視線方向や可視化条件のパラメータ変更が無い間に計算された各3次元画像の計算時間のうち最も時間のかかった時相の計算時間とすることを特徴とする3次元動態データの表示方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、時間的に連続的な3次元ボリュームデータを撮影可能なX線CT装置や光CT装置、MRI装置、3D超音波診断装置、Emission CT装置等により得らる3次元に時間軸を加えた4次元データの3次元動態表示に係る。特に、リアルタイム

に各時相の3次元ボリュームデータの可視化を行い、対話的に動画の可視化条件や視線方向などパラメータを操作可能な3次元動態データの表示方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】本発明に関連する従来技術として以下の文献がある。

【0003】(1) M. Levoy: Efficient Ray Tracing of Volume Data, ACM Trans. on Graphics, Vol. 9, No. 3, (1990) pp245-261

(2) 山科久代他: 心臓各医学における心動態3次元表示の検討, 3D Image Conference'95, (1995) pp113-117

(3) G. Coppini 他: Recovery of the 3-D Shape of the Left Ventricle from Echocardiographic Images, IEEE Trans. on Medical Imaging, Vol. 14, No. 2, (1995. 7) pp301-317

(4) 山本秀樹他: MRI画像による心機能の定量評価, JAMIT'92研究報告, (1992, 1) pp107-118

文献(1)では、3次元ボリュームデータのボリュームレンダリングを紹介している。ボリュームレンダリングにおける3次元ボリュームデータは、半透明のボクセルから構成されると考える。視点から物体にレイトレースしていき、半透明のボクセルに光が透過するとき、光の透過量に変化する度合いとして、各ボクセルに対し不透明度を定義し、ボクセルから反射される光の量の総和を投影面のピクセル値として投影し、3次元ボリュームデータの可視化を行う。

【0004】文献(2)では、SPECTにより、心筋血流と心内腔について、1周期分を16分割して計測し、市販のビジュアライゼーションシステム「AVS-Medical Viewer」を用いたサーフェスレンダリングで、病変部と壁運動の関係を把握に用いた。さらに心臓の機能分布容積を計算し、心臓動態の機能分析に利用している。

【0005】文献(3)では、超音波により、心臓をプローブの当てる角度の異なる4つデータを計測し、このデータより左心室の輪郭形状を認識し、この結果をサーフェスレンダリングにより表示している。

【0006】文献(4)では、各時相の3次元ボリュームデータの各断面像より、心臓の輪郭線を抽出し、これらを $n$ 等分した座標を求め、上下の断面像の輪郭線の座標を3角パッチにより面を作り、Zバッファアルゴリズムによりサーフェスレンダリングを行い、各時相の3次元画像を作り、シネ表示している。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】コンピュータ技術と撮影装置の進歩により、3次元超音波装置などにより連続的に3次元ボリュームデータを計測可能になりつつある。また、MRI装置やX線CT装置においても、動態の周期運動に同期を取ることで1周期を数等分にした異なる時相でそれぞれ3次元ボリュームデータを計測し、時間軸を含んだ4次元データの作成が可能である。

【0008】このような4次元データの可視化を行うため、3次元ボリュームデータの可視化処理を高速に繰り返す、2次元に投影された各時相の3次元画像を時間軸の沿って連続的に表示する動画表示が必要である。

【0009】従来、単一の3次元ボリュームデータを高画質に可視化する方法として、文献(1)のようなボリュームレンダリング法が知られている。しかし、この方法は3次元データのすべてのボクセルに対し光の反射計算と透過計算を行う。このため、非常に時間がかかり、動態を表現することは困難であった。

【0010】心臓の動態計測し、各3次元データを可視化し、マルチフレームで表示した例として、文献(2)と(3)が、動画像表示した例として(4)がある。しかしながら、サーフェスレンダリングでは、表面を明確に定義する必要がある。このため、X線CT等の計測データには、ノイズ等の影響を受け易く、表面も曖昧であり、一意に表面を決めることは困難であり、さらに高画質な可視化画像を得るには時間がかかるという問題があった。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明では、上記の課題を解決するために以下に示す構成を採用している。

【0012】本発明が適用される3次元動態表示装置は、時間軸を加えた4次元データや計算結果を保管する記憶装置と、4次元データの可視化処理を行う計算機と、ディスプレイと、ディスプレイの座標を入力する装置とを備えている。

【0013】ここで、周期的な4次元データの1周期分の動態3次元表示を行う際、設定された表示間隔の間に各3次元画像の計算が不可能な場合でも、他の時相の可視化処理を計算中か否かに関わらず、既に可視化計算が済んでいる時相の3次元画像に対して、設定された表示間隔で決定される各時相の表示タイミングで表示を行う処理を施す。

【0014】さらに、各時相の3次元画像を計算する時間を予測する処理を行う。この結果を用いて、未計算の中から最初に表示タイミングが来る時相を選択していく計算順序制御処理を施す。

【0015】さらに、各時相の可視化計算時間を予測する処理として、(i)直前に計算した3次元画像の計算時間とする、(ii)可視化パラメータの変更が無い間に計算した時間の平均時間とする、(iii)可視化パラメータの変更が無い間に計算した時間の最長計算時間とする、(iv)可視化パラメータの変更の無い間に計算した時間により、間の未計算の時相の計算時間を補間により求めるなど、少なくとも1つの処理を施す。

【0016】さらに、別の計算順序制御処理として、連続した未計算の時相の時間間隔の中で最も長い時間間隔のちょうど中間の時相を選択していく方法を備えている。

【0017】また、4次元データのボリュームレンダリング可視計算を行う際に、任意の3次元ボリュームデータと直前の3次元ボリュームデータと比較して時間変化のある部位を特定する手段を備えている。この結果を用いて、変化のある部位のみにボリュームレンダリング計算を限定する可視化処理を施す。

【0018】さらに、3次元ボリュームレンダリング領域を限定する手法として、2段階の表示関与表面サーチ処理を備えており、動態の3次元ボリュームレンダリング領域を高速に限定する処理として、直前の表示関与表面付近からサーチを始める動態の表示関与表面サーチ処理を備えている。

【0019】さらに、動態の変化領域を限定する手法として、求めた表示関与表面位置と直前の3次元ボリュームデータの表示関与表面位置を比較し、変化のある部位を限定する処理を備えている。

【0020】さらに、求めた表示関与表面位置により、表面位置の変化の滑らかな領域の場合、その滑らかさに応じて投影計算を行う投影点を減らし、高速にボリュームレンダリングする処理を備えている。

【0021】以上の構成により本発明では、周期的な動態の1周期を計測した4次元データの3次元動態表示を行う際、設定された表示間隔で各時相の3次元画像を作成することが不可能な場合でも、他の時相を計算しているか否かに関わらず、既に計算の済んだ時相の3次元画像を表示間隔パラメータで指定されるタイミングで表示する。このことで、対話的な操作を損なわずに3次元動態表示を可能にできる。

【0022】さらに、本発明は、各時相の可視化計算時間を予測する処理を行う。また、未計算の時相の中から表示タイミングの合った時相を予測して計算を行う計算順序制御処理を行う。このことで、動画周期を重ねるうちに徐々に滑らかな動画表示になっていく動態表示が可能になり、より対話的な3次元動態表示が可能である。

【0023】さらに、各時相の可視化計算時間を予測する処理として、(i)直前に計算した3次元画像の計算時間とする、(ii)可視化パラメータの変更が無い間に計算した時間の平均時間とする、(iii)可視化パラメータの変更が無い間に計算した時間の最長計算時間とする、(iv)可視化パラメータの変更の無い間に計算した時間により、間の未計算の時相の計算時間を補間により求める、などの処理を行うことで、計算時間の予測が可能である。

【0024】さらに、別の計算順序予測処理として、連続した未計算の時相の時間間隔の中から最も長い時間間隔の中央の時相を選択して計算する処理を持つ。このことで、動画周期を重ねるうちに徐々に滑らかな動画表示になっていく動態表示が可能になる。また、対話的な3次元動態表示が可能である。

【0025】また、4次元データのボリュームレンダリ

ング可視化処理に対して、任意の3次元ボリュームデータの可視化を行う際に、直前の3次元ボリュームデータと比較して変化のある部位を求める。この部位のみにボリュームレンダリング計算を限定することで、高速に可視化を行うことができる。

【0026】さらに、動態の変化のある部位を求める方法として、以下のものを用いる。それは、高画質に投影画像を求めるボリュームレンダリングの投影計算領域を限定することで高速に可視化を行う2段階の表示関与表面位置サーチ法である。直前の3次元ボリュームデータの表示関与表面位置と関心の表示関与表面を位置と比較し、位置の変化のある領域を変化のある部位として求め、この部位のみにボリュームレンダリング計算を限定する方法により、高速に動態3次元データの可視化を行うことができる。

【0027】さらに、動態の表示関与表面位置を求める際に、直前の3次元ボリュームデータの表示関与表面位置から2段階サーチを行う。このことで、表示関与表面位置を求める時間を短縮することができる。

【0028】さらに、3次元ボリュームデータの断面部においては、直前の3次元ボリュームデータの対応する座標の値と比較して変化のある座標を計算開始とする投影点にボリュームレンダリング計算を限定する。このことで、断面部のボリュームレンダリング画像の画質を保つことができる。

【0029】さらに、表示関与表面位置の変化が滑らかな領域の投影計算を行う投影点を省略し、代表で投影計算した投影点の投影値を代入する。このことで、さらに高速に可視化を行うことができる。

【0030】さらに、別の動態の変化部位を求める方法として、計算対象の3次元ボリュームデータと直前の3次元ボリュームデータのそれぞれ対応する座標ごとに差分値を求め、あるしきい値以上の領域を変化のあった部位として特定することができる。

【0031】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について説明する。

【0032】図1に本発明のシステム構成の一例図を示す。連続した3次元ボリュームデータを計測可能な計測装置1により計測された4次元データを、(例えばネットワークを介して、あるいは、MOを介して、あるいは、直接計算機のインターフェースを介して、) 3次元動画処理装置4の4次元データ記憶装置2に転送される。転送された4次元データを3次元動画処理装置4の3次元動画生成処理部3により、3次元動画を生成し、ディスプレイ6に表示される。また、入力装置5により、3次元動画の作成するためのパラメータを対話的に与える。ここで与えるパラメータは、3次元ボリュームデータをボリュームレンダリングするためのしきい値、不透明度、視線方向などと、動画を表示するための各時相の表

示間隔である。

【0033】図2に本発明の4次元データの一例を図で示す。4次元データは、X軸のサンプリングポイント数 $x$ 、Y軸のサンプリングポイント数 $y$ 、Z軸のサンプリングポイント数 $z$ の3次元ボリュームデータを時間間隔 $t$ (sec.)で $N$ 時相、計測したものである。最初の時相20の3次元ボリュームデータのサイズは $x \times y \times z$ となる。次の時相21は、 $t$ 秒後の $x \times y \times z$ の計測データとなる。最後の $N$ 番目の時相23は、 $(N-1) \times t$ 秒後の $x \times y \times z$ の計測データとなる。これらは、あわせて $N \times x \times y \times z$ のサイズのデータとなる。周期的なデータの場合、フレーム $n$ のデータは、 $(n-1) \times N \times t + (n-1)$ 、 $2N \times t + (n-1)$ 、 $\dots$ 秒後のデータとなり、繰り返される。ここで、各時相の3次元ボリュームデータを構成するサンプリングポイントは、ボクセル(box-cell)と呼ばれる単位立方体であると仮定する。

【0034】まず、3次元ボリュームデータの可視化に用いるボリュームレンダリングについて、述べる。図3に、2段階サーチ手法により高速化を図ったボリュームレンダリングアルゴリズムの流れ図を示す。

【0035】ステップ40: サンプリング間隔を広くし、さらにサンプリングを最近傍補間法により行い、表示関与領域の表面を仮に決定する。

【0036】ステップ41: ステップ40で粗く求めた表示関与領域の表面付近を、サンプリング間隔を狭くし、高次の補間法(線形補間法、キュービック補間法等)により再サンプリングを行い、より正確な表示関与領域の表面を決定する。

【0037】ステップ42: ステップ41で求めた表示関与領域の表面からボリュームレンダリング計算を開始する。

【0038】ここで、表示に関与する領域は、3次元ボリュームデータを構成する各ボクセルの持つ計測濃度値と対話的に設定したしきい値により分離した領域とする。

【0039】図4にモデルによる2段階サーチの説明図を示す。ここでは、視線方向60より見た場合、格子61のように、3次元ボリュームデータをリサンプルし心臓62のボリュームレンダリング画像を求めることを考える。ここで、心臓62は、造影されており、他の組織に比べ値が高く、しきい値のみの条件により可視化できると仮定する。

【0040】この計算の際、まず、実線の格子点のみを最近傍補間により計測値をリサンプルする。白丸66(投影面63上では、64)等を求め、リサンプルしていない投影面63上の黒丸65等の表面を隣の計算した白丸の表面位置を代入し黒丸67を求め、仮りの表示関与領域の表面68を決定する。ここで求めた仮の表面68付近から、実線、点線の両方の格子点を線形補間により計測値をリサンプルし、精密に表示関与領域の表面を決定する。この表示

関与領域の表面から、視線方向にボリュームレンダリング計算を行い、表示対象である心臓の2次元投影画像を求める。このような2段階のサーチにより、画質をそのままに計算量を減らすことができる。

【0041】ここで、ボリュームレンダリングについて説明する。各ボクセルの不透明度 $\alpha$ と反射度が等しく、光の透過率が $(1-\alpha)$ であるとする。そして各点に配置されたボクセルで反射された光が投影面に対して前にある他のボクセルの透過率に従い透過して投影点に達するものとして、投影値に影響を与える表示関与量 $Q_z$ を数1により求める。

【0042】

【数1】

【数1】

$$Q_z = \alpha(z)C(z) \prod_{j=0}^{z-1} (1 - \alpha(j))$$

【0043】ここで、 $z$ は、処理対象になった点を表す。すなわち、 $z-1$ は、ひとつ手前の処理対象点を表す。よって、総積の項は、 $z$ の手前に配置された各ボクセルの透過率の積であり、点 $z$ のボクセルで反射した光 $\alpha(z)C(z)$ の投影面への透過率を示している。この各ボクセルの投影値に与える表示関与量 $Q_z$ の総和が、ボリュームレンダリングの投影値 $P$ となる。この式を数2に示す。

【0044】

【数2】

【数2】

$$P = \sum_{z=0}^N Q_z$$

【0045】以上で、投影面上の一つの画素値が求まったので、この計算を投影面上のすべての点について行い、ボリュームレンダリング画像を求める。

【0046】このようなボリュームレンダリングアルゴリズムにおいて、関心領域を表示するための表示関与表面位置より手前のボクセルをボリュームレンダリングの処理対象から除くことで、高速化を図ることが可能である。

【0047】まず、第1の実施例（実施例1）について説明する。実施例1では、時間的に周期的な変化のある物体の各時相を計測した3次元ボリュームデータで表現した4次元データの動態3次元表示に関し、設定された表示間隔内に各3次元ボリュームデータの投影計算ができない場合の3次元動態表示アルゴリズムについて述べる。

【0048】図8に、3次元動画表示における各処理のタイムテーブルを示す。1周期分を5時相の3次元ボリュームデータで表現した周期的な4次元データで、動画

の表示間隔 $125$ を $D_t$ 秒、3次元ボリュームデータを2次元投影計算する平均時間 $126$ を $R_t$ 秒とする。 $D_t \geq R_t$ であれば問題はないが、もし、 $D_t < R_t$ とすると、動画の要求する表示間隔で画像を表示できない。

【0049】動画が要求する投影画像表示のタイムテーブルを120に示す。また、逐次に3次元データの投影計算を行った場合のタイムテーブルを121に、この結果表示のタイムテーブルを122に示す。ここで分かるように、動画の要求する表示間隔では、各時相の投影画像を表示できない。

【0050】そこで、本発明では、時間同期型表示方式で動画表示する方法を提案する。時間同期型表示方式の3次元データの投影計算のタイムテーブルを123に、この結果表示のタイムテーブルを124に示す。2次元投影に要する時間を考え、未計算の時相の中から最初の時相の3次元ボリュームデータの投影を行うようにする。さらに、投影計算の済んだ3次元ボリュームデータの2次元投影画像は別のバッファに保存するようにし、可視化パラメータの変更が無い間に計算した時相の投影計算を行わないようにする。このことにより、既に計算済みの時相の投影計算を省略し、その時間を用いて、投影計算の済んでいない3次元ボリュームデータの計算を行う。したがって、対話性を犠牲にしない3次元動態表示を可能にしている。

【0051】このアルゴリズムでは、対話的に設定される可視化パラメータが変更された後から、次に変更されるまでの可視化パラメータの変更が無い間、以下の処理をマルチプロセスで実行する。

【0052】(i) 次にどの時相の可視化計算を行うか決定する計算順序制御処理と、決定された時相の可視化計算を行う処理と、計算された各時相の投影結果を記憶装置に保存する処理を行う。

【0053】(ii) 他の時相の可視化計算を行っている最中か否かに関わらず、設定された表示間隔で決定される各時相の表示タイミングで、既に計算済みの時相の投影画像を表示する処理を行う。

【0054】(iii) 可視化パラメータの変更があったかイベントチェックする処理を行う。

【0055】図9に、前述(i)のプロセスのフロー図の例(1)を示す。

ステップ140：最初の3次元ボリュームデータの投影計算を行う。この投影計算に要した時間 $R_t$ を求めておく。

【0056】ステップ141：初期値を代入する。ここで、 $n$ はどれだけ飛ばして計算するかを示すパラメータ、 $L$ は直前に計算した3次元データが何番目のデータかを示すパラメータ、 $H$ は何周期目かを示すパラメータとする。 $n$ の初期値は1、 $L$ の初期値は1、 $H$ の初期値は1とする。

【0057】ステップ142：投影計算時間 $R_t$ と $(n+1)$ 番目の動画の表示開始時間を比較する。もし、投影

計算時間の方が大きければ、ステップ143へ、そうでなければ、ステップ145へ進む。

【0058】ステップ143:  $n$  の値を1インクリメントし、ステップ142の条件へ戻る。

【0059】ステップ145:  $(L+n)$  番目の3次元ボリュームデータの投影計算を行う。

【0060】ステップ146: 1番目を計算終了時点からの経過時間  $T$  と、1周期分の表示時間  $N \times Dt$  を比較し、もし、経過時間の方が大きければ、ステップ148へ、そうでなければ、ステップ147へ進む。

【0061】ステップ147:  $L$  の値を  $n$  インクリメントし、ステップ145へ戻る。

【0062】ステップ148: 2周期以降のアルゴリズムへ進む (図10ステップ160)。

【0063】140~143までのステップでいくつデータを飛ばして投影計算を行うかを推定し、それ以降で、データを飛ばしながら投影計算を行っている。

【0064】図10に、前述(4)のプロセスのフロー図の例(2)を示す。

ステップ160:  $H$  を1インクリメントし、 $k$  に1を代入する。ここで、 $k$  は、処理対象とする3次元データを示すパラメータとする。

【0065】ステップ161: 現在の時間  $T$  に計算すべき3次元データ  $k$  を以下の式で判定を行う。

$$【0066】k \times Dt > T \% H + Rt$$

この式を満たしていればステップ163へ、そうでなければステップ162へ進む。ここで、演算子  $\%$  は、 $T$  を  $H$  で割った余りとなる。

【0067】ステップ162:  $k$  を1インクリメントし、ステップ161に戻る。

【0068】ステップ163:  $k$  番目の3次元データを既に計算していれば、ステップ164へ、そうでなければ、ステップ165へ進む。

【0069】ステップ164:  $k$  を1インクリメントし、ステップ163に進む。

【0070】ステップ165:  $k$  番目の3次元データの2次元投影計算を行う。

【0071】ステップ166: 現在時間が次の周期の計算に移るかどうか、以下の式で判定する。

$$【0072】T + Rt > N \times Dt \times (H + 1)$$

この式を満たしていればステップ160へ、そうでなければ、ステップ161へ戻る。

【0073】前述(4)のプロセスで、次に計算する未計算の時相の可視化計算に要する時間を予測する処理が必要となる。以下の予測処理を考えた。

【0074】(i)直前に計算した時相の計算時間を予測計算時間とする処理を行う。

【0075】(ii)可視化パラメータの変更が無い間に計算された各時相の計算時間の平均計算時間を予測計算時間とする処理を行う。

【0076】(iii)可視化パラメータの変更が無い間に計算された各時相の計算時間の最長の計算時間を予測計算時間とする処理を行う。

【0077】(iv)可視化パラメータの変更が無い間に計算された各時相の計算時間の記録をとり、計算済みの時相255と時相257の間を線形補間し、未計算の時相256の計算時間をその補間値とする処理 (図14)を行う。

【0078】直前の計算した時相と次に計算する時相の動態の変化率が大きい場合、(i)の処理では、予測時間がその変化率に比例してはずれず。また、可視化パラメータを変更した直後の場合、(ii)の処理は、(i)と同じようにはずれずが、可視化計算の済んだ時相が増えると、はずれの度合いが減少する。また、(iii)は、最長値を取ることで、予測がはずれて、可視化計算がその時相の表示タイミングに間に合わなくなる可能性を減らすことができる。また、(iv)も、可視化パラメータの変更直後は、(i)と同じようにはずれずが、可視化計算の済んだ時相が増えると、もっとも近い予測時間を導出することができる。さらに、この補間処理を線形補間でなくキュービック補間を行うと、より近い予測時間が導出できる。

【0079】また、以上のような計算時間予測を行わない計算順序制御方式として、連続した未計算時相の時間間隔の中で、最も長く空いている時間間隔の中の未計算時相の中から、ちょうど中間の時相の3次元ボリュームデータの3次元画像を優先して計算し、一連の3次元画像を作成していく計算順序制御処理も用意した。

【0080】1周期を8時相に分けて計測した具体例でこの処理結果を図15に示す。最初の第1時相を計算した後、最も長く空いている時間間隔は1~1の間で、その中間の時相は第5時相となる。続いて、最も長く空いている時間間隔は、1~5と5~1の間となり、このうち1~5の間の中間の第3時相を、さらに続いて5~1の間の中間の第7時相を計算する。このようにして、1、5、3、7、4、8、6、2の順で計算していく。

【0081】このような方法を取ることで、時間予測する方式では、計算する順序の割り振りが上手く行かない場合、とくに、1周期の時間と投影計算時間が表示間隔時間以内のずれしかない場合、隣接した時相の順番となる場合に、このように時間予測せずに計算することで、より動画表示を滑らかに可能とする。

【0082】図11に、前述(4)のフローの例を示す。ステップ180: 最初の投影計算結果を表示する。

【0083】ステップ181: パラメータの初期化を行う。ここで、 $m$  は、現在表示したい3次元データの投影画像である。 $m$  に1を代入する。

【0084】ステップ182: 現在時間をチェックし、現在表示したい画像が何かチェックする。ここで、現在の何周期目かのパラメータを  $H$  とする。ここで、現在時間が次の画像を表示すべき時間ならステップ183へ、そ



うでないなら、ステップ182を繰り返す。

【0085】ステップ183：mを1インクリメントする。

【0086】ステップ184：m枚目の画像が計算済みかチェックする。もし、計算済みならステップ185へ、そうでないなら、ステップ182へ戻る。

【0087】ステップ185：m枚目の画像に表示を切り替え、ステップ182へ戻る。

【0088】なお、ステップ180～185の動画表示のフローは、図9図10の動画生成フローと並列に実行される。

【0089】この処理によると、可視化パラメータの変更があった直後は、表示間隔より一時相の可視化計算の時間が長いため、計算の済んでいる時相が少ないが、済んでいるものだけで各時相のタイミングに合わせて表示を切り替えるため、コマ送りのようなぎくしゃくした動画表示できる。周期を重ねる内に、計算済みの時相が増えていき、この結果、動画の動きも徐々に滑らかになる。

【0090】このような処理を行うことで、動画の概要の確認をすべての時相の可視化計算の終了を待たずに行うことができ、可視化パラメータの変更などの対話性を損なわないシステム構成が可能となる。

【0091】次に、第2の実施例（実施例2）について説明する。実施例2は、3次元超音波撮影装置等により、動態を計測中の4次元データの3次元動態表示に関するものである。

【0092】ここでは、計算対象になっている3次元ボリュームデータとその直前の3次元ボリュームデータを比較して、変化のある部位を求め、変化のある部位のみ計算対象にすることで、ボリュームレンダリングの計算量を減らし、高速なボリュームレンダリングを繰り返し、動態表示を行う。

【0093】変化のある部位を求める方法は、以下の2つを考えた。

【0094】(i)表示関与表面位置を比較し、位置に変化のある投影点を変化のある部位とする。

【0095】(ii)それぞれ対応する座標の値の差分を求め、この値があるしきい値を越えている部位を変化のある部位とする。

【0096】(i)の方法は、ボリュームレンダリングに直結して、限定された表示関与表面位置からボリュームレンダリング計算を開始できる。一方、(ii)の方法は、ここで、求めた部位から、回転補間計算を行い、ボリュームレンダリング計算を行う必要がある。ボリュームレンダリング計算の不透明度パラメータが高い場合、(i)の方法が高速化が期待できるが、低い場合は動いてない部位まで、レンダリング計算を行う可能性があり、この場合は(ii)の方が高速化が期待できる。

【0097】以下で、(i)方法について、具体的に説明

を行う。図5に動態のボリュームレンダリングの際の表示関与表面位置の変化のモデル図を示す。

【0098】この4次元データは、脊髄80と心臓81を含んでおり、心臓は、t秒後には82形状に変形する動態モデルである。視線方向83でボリュームレンダリング計算を行った場合、斜線領域84は、動きが無い。このため、表示関与領域の表面位置に変化は無い。一方、85の領域は、心臓の動きがあるため、表示関与表面位置の変化がある。

【0099】図6に、図5の表面位置の変化をグラフにした図を示す。グラフ91は、図581の時相の表面位置の変化のグラフである。一方、グラフ92は、図582の時相の表面位置の変化のグラフである。横軸の94の間隔の部位に変化があることが分かる。

【0100】図7に、本発明の3次元動画処理のフロー図を示す。

ステップ100：まず、最初の3次元データを2段階サーチ法により、表示関与領域の表面を求め、その表面からボリュームレンダリングを行い、2次元投影画像を得る。

【0101】ステップ101：次の3次元ボリュームデータへ処理対象データを変更する。

【0102】ステップ102：直前の3次元ボリュームデータで用いた表示関与表面位置から、サンプリング間隔を広く、さらに最近傍補間によりサンプリングを行い表示関与領域の表面を仮に決定する。

【0103】ステップ103：ステップ102で求めた表示関与領域の表面の付近をサンプリング間隔を狭め、線形補間（もしくはキュービック補間）によりサンプリングを行い、より正確な表示関与領域の表面を決定する。

【0104】ステップ104：直前の3次元ボリュームデータの表面位置と計算対象となっているデータの表面位置を比較して変化のある投影面上の点のみに限定し、ボリュームレンダリング計算を実行する。

【0105】ステップ105：ボリュームレンダリング計算を行った投影面上の点を直前の2次元投影画像結果の対応する点の値と置き換え2次元投影画像を得る。この後、ステップ101に戻り、ステップ101～105を繰り返す。

【0106】ここで、ステップ102、103は、動態の表示関与領域の表面位置の高速表面サーチ部分で、ステップ104、105は、高速動態ボリュームレンダリング部分である。高速動態ボリュームレンダリング部は、3次元ボリュームデータの中の動態の大きさにより、ボリュームレンダリングの計算時間が影響を受け、動態が小さいほどボリュームレンダリングの計算時間を短縮できる。一方、高速表面サーチ部は、動態の変形スピードとサンプリング間隔に依存し、一コマあたりの変形量が大きいと、サーチ時間を費やしてしまう。

【0107】以上のような高速化処理により、連続的に

計測される3次元ボリュームデータに対し、次のデータが計測されるまでの間にボリュームレンダリング計算を行うことができるように対応する。この実施例で、対応できない場合、以下のような高速化処理を導入する。

【0108】次に、第3の実施例（実施例3）について説明する。実施例3は、周期的な4次元データに限らず、動画の要求する表示間隔の間にボリュームレンダリング計算を行うことができない場合、表示関与表面位置の変化が滑らかな領域において、その滑らかさに応じて2次元投影するポイントを削減し、ボリュームレンダリングの処理時間を短縮する方法に関するものである。

【0109】図12、13に2次元投影点の省略の説明図を示す。ここでは、図4と同様に視線方向210の方向より見た場合、格子211のように、3次元ボリュームデータをリサンプリし、心臓212のボリュームレンダリングを計算することを考える。

【0110】この場合、ボリュームレンダリングは、表示関与表面位置213より開始され、投影面214に計算値が

【数4】

$$g(x, y) = \sqrt{(p(x-1, y) - p(x+1, y))^2 + (p(x, y-1) - p(x, y+1))^2}$$

【0114】表示関与表面位置220とその変化の勾配221により、投影計算を行う投影点を決定する。投影計算を行う座標を222に○で示した。一方、変化の勾配により省略された座標を×で示し、表示関与表面位置が背景部なので省略された座標を－で示した。変化の勾配により省略された座標は、周辺のまとまった領域の勾配値が同じである、という条件で決定され、この領域の中央座標で投影計算を行い、領域全域に代人される。この例では、224、225がその領域となる。

【0115】この処理により、動態の部位が大きくても、動態の形状により、ボリュームレンダリング計算する投影点を減らし、ボリュームレンダリングの計算量を減らし、動画の要求する表示間隔の間に計算を終了できるようできるが、投影点を減らすため、画質に影響を与える。

【0116】

【発明の効果】以上で詳細に説明した如く、本発明によれば、時間軸を加えた4次元データにおける3次元動態表示に対し、変化のある部位を求めることにより、変化部位のみに投影計算を行う投影点を限定する高速動態ボリュームレンダリング処理を行うことができ、これにより3次元ボリュームデータの可視化処理を繰り返し行うことにより3次元動態表示でき、特に周期的な動態の3次元動態表示に対しては、他の時相を計算中であるか否かに関わらず表示間隔で決定される各時相のタイミングで既計算の時相を表示することで対話性を損なうことなく3次元動態表示できるという顕著な効果を奏するもの

投影される。この例の場合の投影計算の省略を図13により説明する。表示関与表面位置を220に示す。これは、格子211の左端を0とする表面の深さ値となっている。この値に対し、表示表面位置の変化の勾配を求めた値を221に示す。この値は、数3に示す式により求める。

【0111】

【数3】

【数3】

$$g(x) = \sqrt{(p(x-1) - p(x+1))^2}$$

【0112】この例では、簡単のため1次元データで説明しているが、本来は2次元であるため、この式を2次元に拡張した数4を以下に示す。

【0113】

【数4】

である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のシステム構成の一例図である。

【図2】本発明の時間軸を加えた4次元データの一例図である。

【図3】本発明の2段階の表示関与表面サーチによる高速ボリュームレンダリング手法の流れ図である。

【図4】本発明の2段階の表示関与表面サーチの説明図である。

【図5】本発明の第1の実施例における動画のボリュームレンダリングの表面位置のモデル説明図である。

【図6】本発明の第1の実施例における図5の表面位置のグラフ図である。

【図7】本発明の第1の実施例における3次元動画像処理のフロー図である。

【図8】本発明の第2の実施例における3次元動画像処理の各処理のタイムテーブルである。

【図9】本発明の第2の実施例における3次元動画像処理の時間同期型表示方式のフロー図（1）である。

【図10】本発明の第2の実施例における3次元動画像処理の時間同期型表示方式のフロー図（2）である。

【図11】本発明の第2の実施例における3次元動画像処理の動画表示のフロー図である。

【図12】本発明の第3の実施例における2次元投影点の省略の説明図（1）である。

【図13】本発明の第3の実施例における2次元投影点の省略の説明図（2）である。

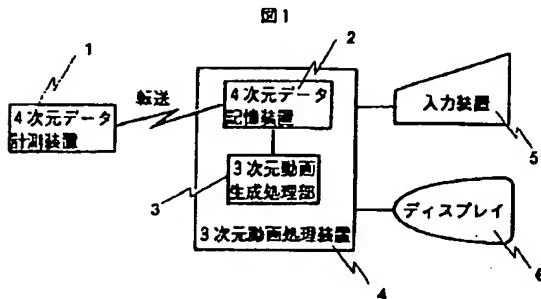
【図14】本発明の第1の実施例における投影計算時間の補間の説明図である。

【図15】本発明の第1の実施例における投影計算の予測を行わない計算順序制御方式の具体例説明図である。

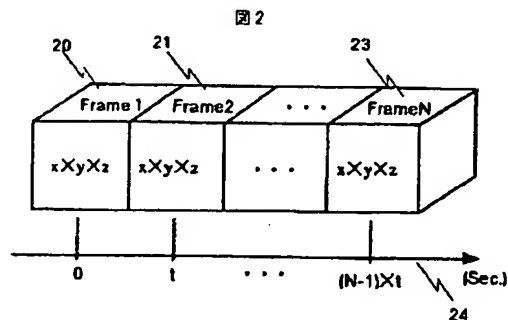
【符号の説明】

1…4次元データ計測装置、2…4次元データ記憶装置、3…3次元動画生成処理部、4…3次元動画処理装置、5…入力装置、6…ディスプレイ

【図1】

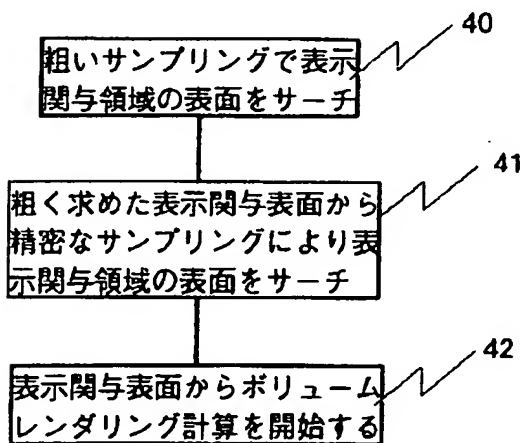


【図2】

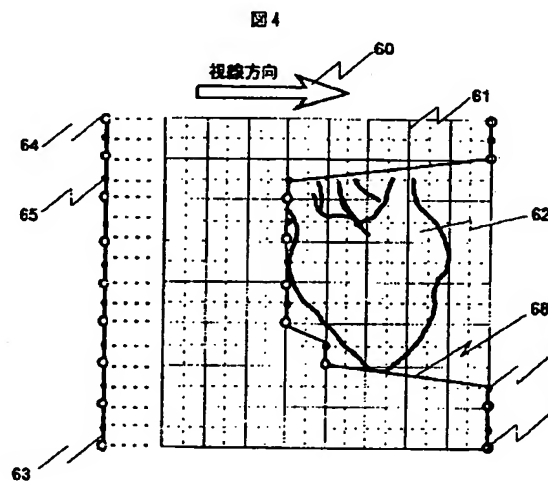


【図3】

図3

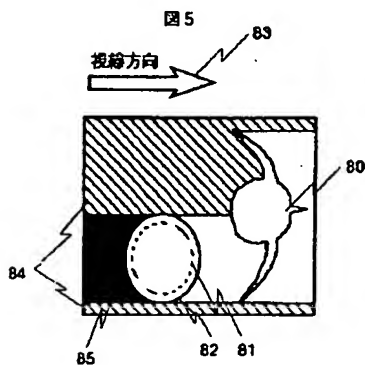


【図4】



【図14】

【図5】



【図6】

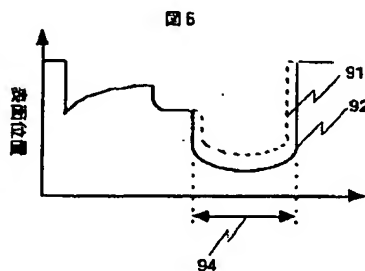
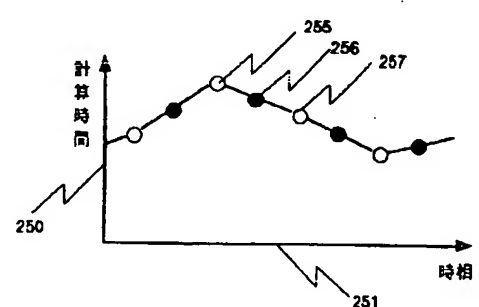
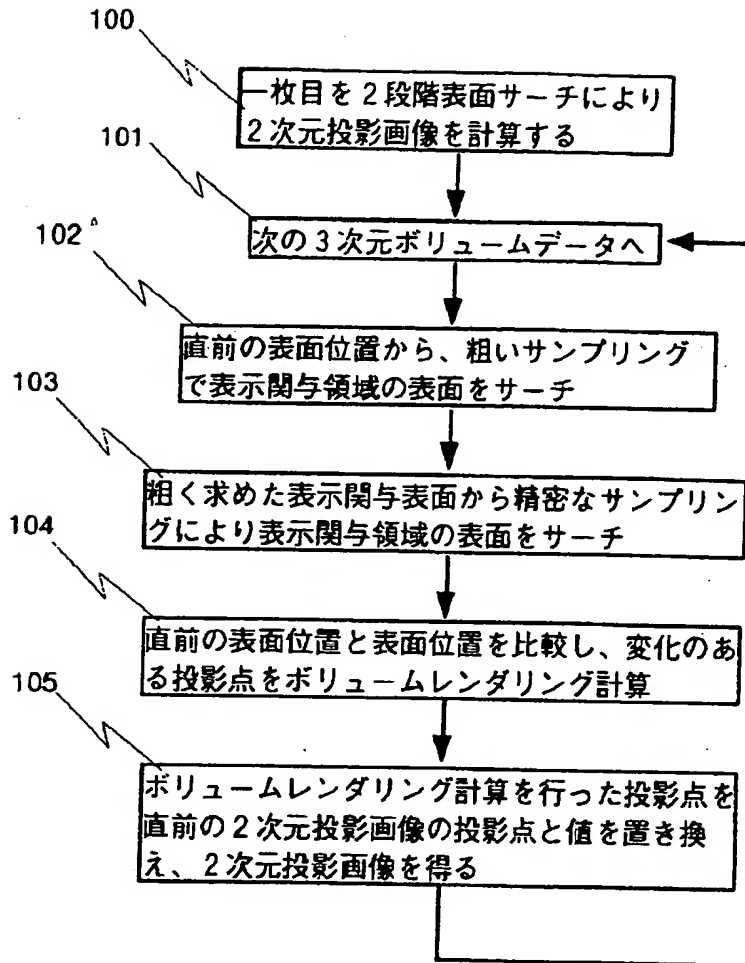


図14



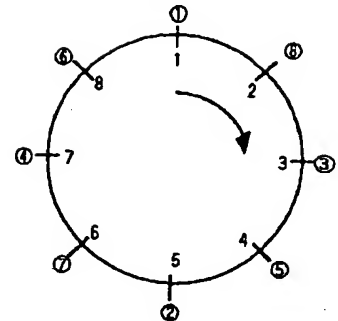
【図7】

図7



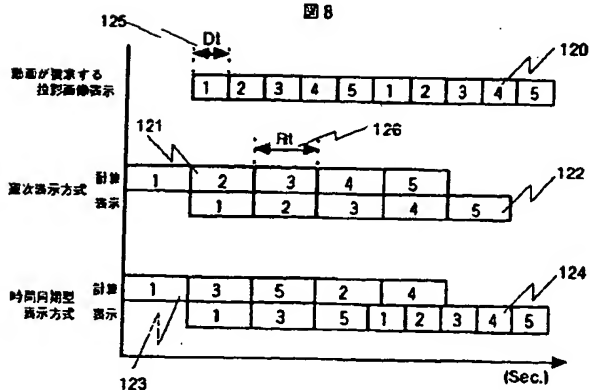
【図15】

図15



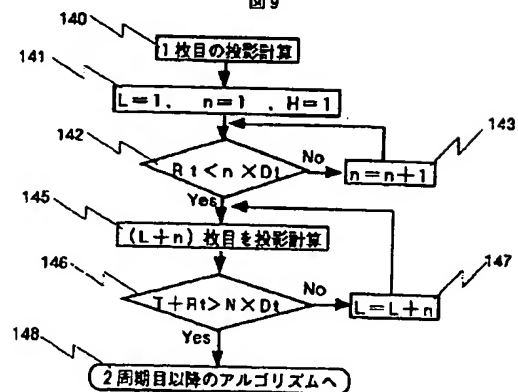
【図8】

図8



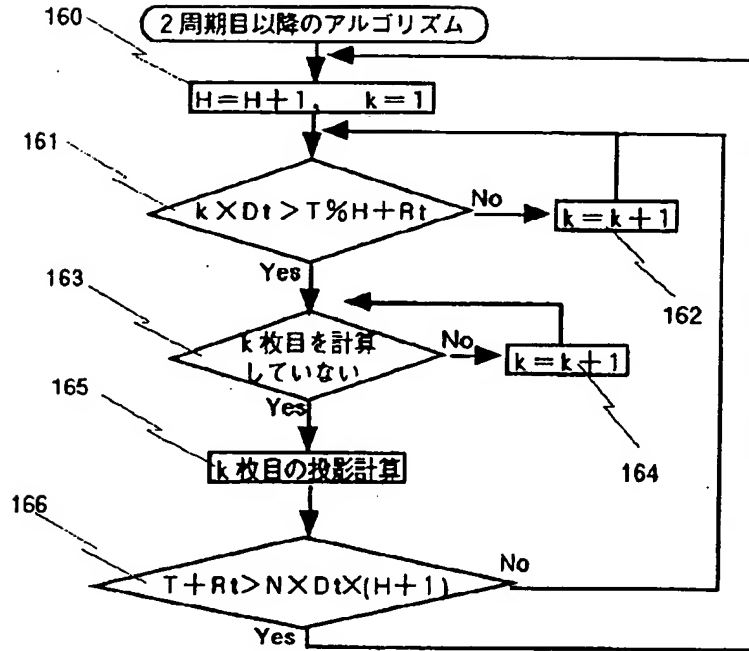
【図9】

図9



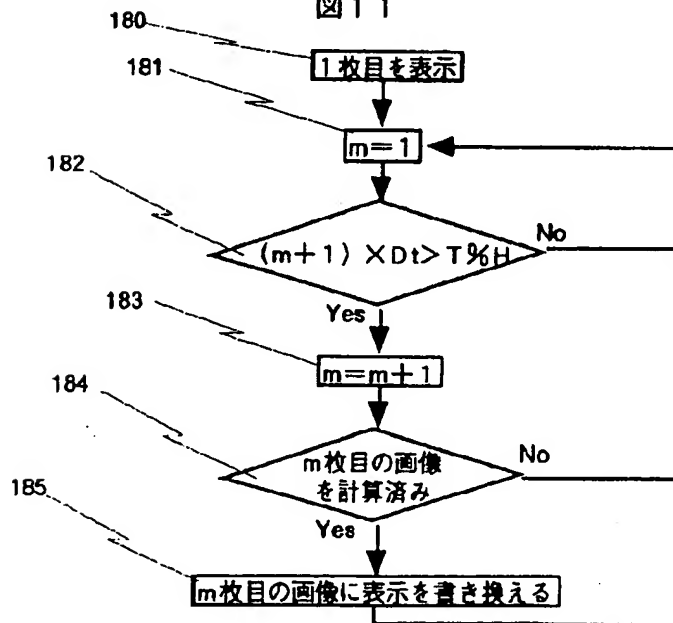
【図10】

図10



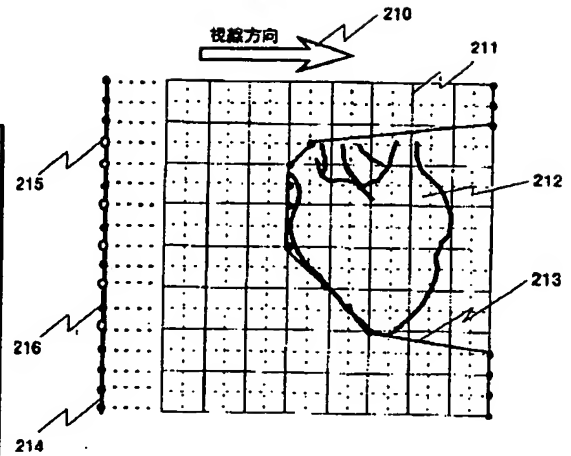
【図11】

図11



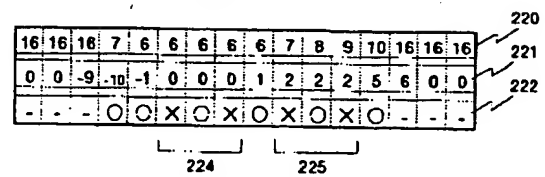
【図12】

図12



【図13】

図13



フロントページの続き

(51)Int. Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 6 T 1/00			G 0 6 F 15/62	3 9 0 A
15/00		9365-5H	15/72	4 5 0 K

(72)発明者 及川 道雄  
神奈川県川崎市麻生区王禅寺1099番地 株  
式会社日立製作所システム開発研究所内